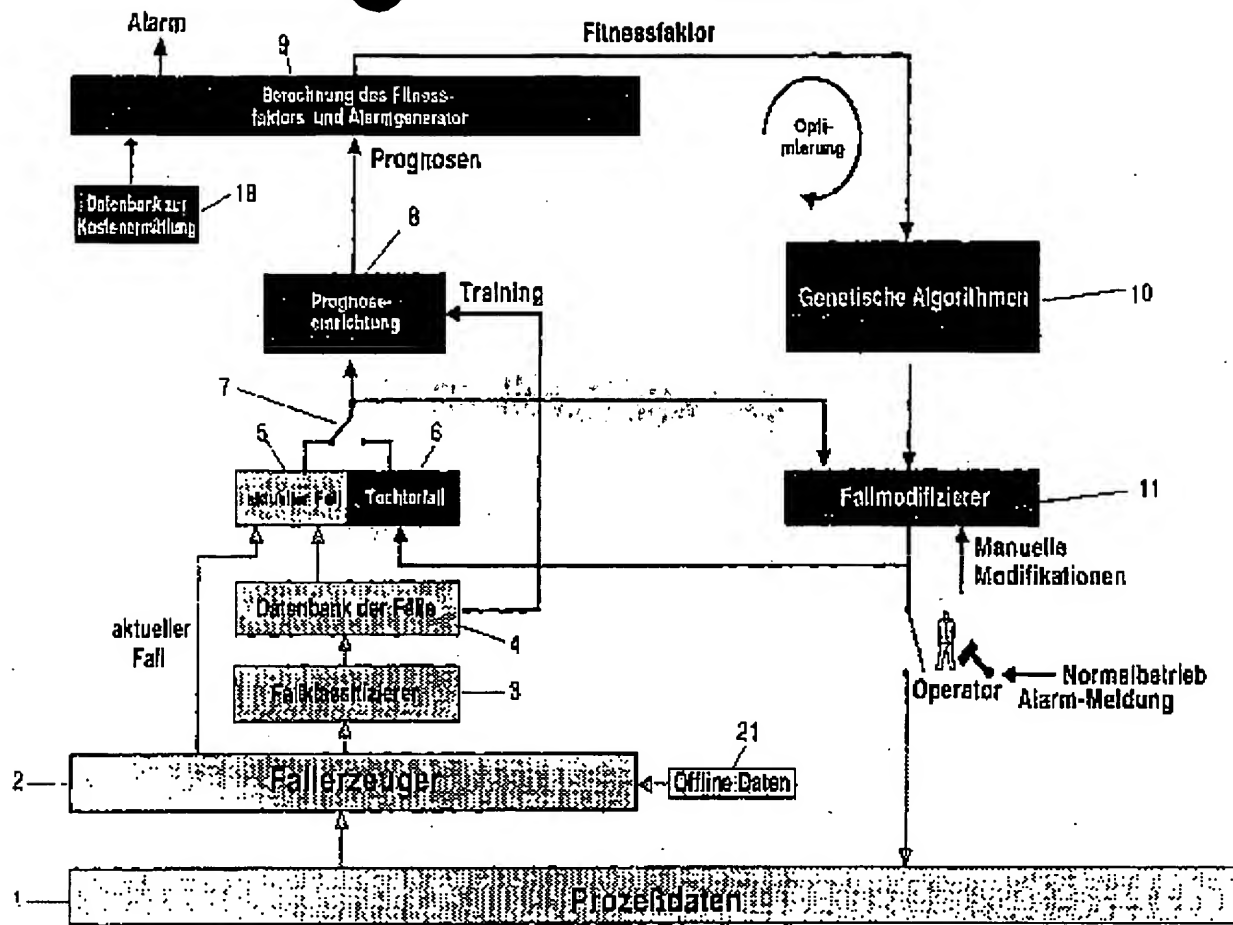


AN: PAT 1997-021950
TI: Paper production process optimisation system evaluates results for different process parameters settings via calculated fitness factors, and uses genetic algorithm for fitness factor optimisation
PN: **DE19519627-A1**
PD: 05.12.1996
AB: The optimisation system has individual process stages supplied with respective setting parameters, with determination of the overall result on the prodn. process via a prognosis device, to allow the individual results to be assigned a fitness factor, for display. Pref. the fitness factors are used for comparison of different results, with calculation of the product characteristics via a neural network, or a fuzzy system, the process parameters adjusted via a genetic learning process, with successive calculation of the fitness factor, to obtain the optimum value.; For optimisation of complex prodn. process, e.g. in paper mfr..
PA: (SIEI) SIEMENS AG;
IN: FRICKE C; FURUMOTO H;
FA: **DE19519627-A1** 05.12.1996; **DE19519627-C2** 29.04.1999;
CO: DE;
IC: G05B-013/04;
MC: T01-J16A; T01-J16B; T01-J16C1; T01-J16C4; T06-A05A1; T06-D03A; X25-T09;
DC: T01; T06; X25;
FN: 1997021950.gif
PR: DE1019627 29.05.1995;
FP: 05.12.1996
UP: 29.04.1999

THIS PAGE BLANK (USPTO)



THIS PAGE BLANK (USPTO)

DE 195 19 627 A1

POTENTE, H., u.a.: Kritische Betrachtungen zur Prozeßüberwachung in der Kunststoffverarbeitung, Teil 2. In: *Plastverarbeiter* 44.Jg., 1993, S.100-104;
SCHÖNEBURG, Eberhard, u.a.: Genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien, Addison-Wesley Publishing Company, Bonn, 1.Aufl., 1994, S.197,282-291,356-363;

8/24

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Optimierung der Prozeßführung von Produktionsvorgängen, bei dem Prozeßeinstellungen einer Anlage vorgegeben werden.

Mit der älteren, nicht vorveröffentlichten europäischen Patentanmeldung Nr. 93118903.9 wird bereits eine Vorrichtung zur Prozeßführung vorgeschlagen, die nach Art des sogenannten "fall-basierten Lernens" arbeitet. Beim zugehörigen Betriebsverfahren werden die Parameter von typischen Fällen während der Produktion erfaßt, untereinander verglichen und werden mittels eines Fallerzeugers einerseits und eines Fallauswählers andererseits entsprechend optimierte Sollwerte erzeugt. Dabei kann gegebenenfalls auf die Technologie von Fuzzy-Logik und/oder neuronalen Netzen zurückgegriffen werden.

Davon ausgehend ist es Aufgabe der Erfindung, die Optimierung der Prozeßführung bei Produktionsvorgängen weiter zu verbessern.

Die Aufgabe ist erfindungsgemäß bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß aus den Prozeßeinstellungen einzelner Produktionsvorgänge Fälle erstellt werden, daß jeweils der auf der Anlage laufende Fall durch eine Prognoseeinrichtung geschickt wird, die aus den Prozeßeigenschaften die fehlenden Produktionseigenschaften berechnet, und daß der einzelne Fall mit einem sogenannten Fitneßfaktor bewertet und angezeigt wird.

Im Rahmen der Erfindung können beim Stand der Technik im anderen Zusammenhang bereits vorgeschlagenen genetischen Algorithmen zur Optimierung großtechnischer Prozesse eingesetzt werden, wobei die als Fälle definierten typischen Prozeßeinstellungen Basis für die Optimierung sind. Dieses Verfahren läßt sich insbesondere in der Anwendung bei der Papierherstellung einsetzen.

Vorteilhaft ist bei der Erfindung, daß mit Zuführung des jeweils auf der Anlage laufenden Falles zur vorhandenen Prognoseeinrichtung gleichzeitig aus Prozeßeigenschaften Produkteigenschaften berechnet werden können. Dies kann mit einem analytischen Modell, einem neuronalen Netz, einem Fuzzy-Entscheidungssystem oder dergleichen erfolgen. Es entsteht so ein "kompletter Fall", der mit dem Fitneßfaktor bewertet wird. Die Bewertung kann vorteilhaft anhand der Kosten, Qualität und/oder auch ökologischen Faktoren erfolgen, insbesondere beispielhaft über eine Kostenfunktion.

Im Rahmen der Erfindung wird der Fitneßfaktor zur vergleichenden Bewertung unterschiedlicher Fälle ausgenutzt. Der Fitneßfaktor wird im Normalbetrieb dem Anlagenfahrer angezeigt. Ist der Anlagenfahrer mit dem Fitneßfaktor nicht zufrieden oder liefert die Prognose nicht das gewünschte Ergebnis vorrangig die geforderten Produkteigenschaften kann auf Simulation umgeschaltet werden. Wahlweise kann eine solche Umschaltung ereignisgetriggert sein.

Bei der Erfindung können vorteilhafterweise aus laufenden Fällen abgeleitete Prozeßeinstellungen, wie insbesondere veränderbare Prozeßzustände, Sollwerte, Stellwerte, Chemikaliendosierungen od. dgl., modifiziert werden. Ein auf diese Weise entstehender Tochterfall wird wiederum der Prognoseeinrichtung zugeführt und erneut der Fitneßfaktor berechnet. Dies bedeutet, daß der Tochterfall dem gleichen Bewertungsverfahren unterzogen wird wie der ursprüngliche Fall. Der sich neu

ergebende Fitneßfaktor wird mit dem des vorhergehenden Falles verglichen. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis der Fitneßfaktor ein Optimum erreicht hat.

Anschließend kann der Operator bzw. der Anlagenfahrer entscheiden, ob er die zugehörigen und jeweils gespeicherten Prozeßeinstellungen für den tatsächlichen Produktionsablauf übernehmen will.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung in Verbindung mit den weiteren Patentansprüchen. Es zeigen

Fig. 1 als Blockschaltbild die Anwendung von genetischen Algorithmen bei Optimierung der Prozeßführung eines Produktionsvorganges, wobei die Art des Produktionsvorganges offengehalten wird,

Fig. 2 die Berechnung des Fitneßfaktors mit neuronalen Netzen und Fuzzy-Logik,

Fig. 3 die Berechnung des Fitneßfaktors aus einer Wissensbasis vorheriger Produktionsfälle und

Fig. 4 die Berechnung des Fitneßfaktors mit sogenannten konzeptionellen Klustern.

Die Erfindung ist insbesondere bei der Papierherstellung vorteilhaft einsetzbar.

In Fig. 1 bezeichnet der Block 1 eine Einheit von Prozeßdaten, die bei einem bestimmten Produktionsvorgang anfällt. Bei der Papierherstellung sind welche Vorgänge im einzelnen die Prozeßführung bei der Zellstoffherstellung einerseits und der entsprechenden Weiterverarbeitung zu Papier andererseits.

Der Einheit 1 ist eine Einheit 2 nachgeschaltet, die als sogenannter Fallerzeuger dient. In der Einheit 2 werden aus den Prozeßdaten des Blockes 1 und weiteren in einer Einheit 21 gespeicherten Offline-Daten typische Fälle abgeleitet, wobei jeweils ein aktueller Fall ausgewählt wird. Die so generierten Fälle des Fallerzeugers 2 werden in einen Fallklassifizierer 3 und einer nachfolgenden Datenbank 4 für die einzelnen Fälle gegeben.

In einer nachgeschalteten Einheit 5 wird jeweils ein aktueller Fall vom Fallerzeuger 2 einerseits und der Datenbank 4 der Fälle angesteuert. Parallel ist eine Einheit 6 für einen sogenannten Tochterfall geschaltet.

Von den Einheiten 5 oder 6 wird alternativ über einen Schalter 7 eine Prognoseeinrichtung 8 angesteuert. Der Prognoseeinrichtung 8 folgt eine Einheit 9 zur Berechnung des sogenannten Fitneßfaktors, die auch einen Alarmgenerator beinhalten kann.

Der sogenannte Fitneßfaktor ist in der Theorie der genetischen Algorithmen eindeutig definiert, beispielsweise in der Monographie D.E. Goldberg "GENETIC ALGORITHM in search, optimization and machine learning", Addison-Wesley Publishing Comp. Inc. (1989). Damit ist im einzelnen die Gültigkeit des angewandten Prozeßmodells für die jeweilige Steuerungsaufgabe beschrieben.

Für eine Optimierung wird das Ausgangssignal der Einheit 9 zwecks Berechnung des Fitneßfaktors auf eine Einheit 10 zur Erzeugung von genetischen Algorithmen gegeben. In der Einheit 10 werden eine Anzahl von Tochterfällen generiert, aus denen jeweils die günstigsten ausgewählt werden können. Über einen sog. Fallmodifizierer 11 werden die Signale auf die Einheit 1 zur Speicherung der Prozeßdaten zurückgegeben. Dabei ist an dieser Stelle der Anlagenfahrer bzw. Operator zwischengeschaltet, von dem manuelle Modifikationen eingegeben werden können.

Das Konzept der in der Figur nur abstrahiert darge-

stellten Anlage ist, unter Verwendung der geometrischen Algorithmen die vorhandenen Fälle derart zu modifizieren, daß ein Tochterfall mit einem aktuellen Fall verglichen werden kann und jeweils der bessere Fall zur Grundlage des Prozeßmodelles herangezogen wird. Somit ist eine kontinuierliche Optimierung der Prozeßführung möglich.

Für die Praxis ist ein Training der Prognoseeinrichtung wichtig. Dabei kann bei einer ersten Variante als Arbeitspunkt der zur Zeit anliegende Prozeßzustand, d. h. der aktuelle Fall, gewählt werden. Für die Prognose wird das Prognosemodell mit ähnlichen Fällen trainiert, d. h. die Modellkonstanten werden in der Nähe des aktuellen Arbeitspunktes bestimmt. Dadurch verbessert sich bei komplexen nichtlinearen Prozessen die Prognosegenauigkeit. Ähnliche Fälle sind dabei die in der Datenbank der Fälle vorhandenen Daten, die in der Nähe des aktuellen Falles liegt.

Bei einer alternativen Variante wird dagegen mit einem Gesamtmodell gearbeitet, das Offline trainiert wird.

Bei der Bewertung mit dem Fitneßfaktor können vorteilhafterweise die Kosten, die Qualität oder aber auch insbesondere ökologische Faktoren herangezogen werden. Dabei ist die Bewertungsfunktion, d. h. die Zielstellung der Optimierung, veränderbar und jeweiligen Randbedingungen der Produktion anpaßbar. In der Figur ist dafür eine Einheit 18 vorhanden, die eine Datenbank zur Kostenermittlung beinhaltet.

In Fig. 2 ist die Anordnung gemäß Fig. 1 speziell für eine Papiermaschine ausgeführt. Dabei wird die Prognose der Papierqualität, z. B. des sogenannten CMT-Wertes (Stauchwiderstand), mit einem neuronalen Netz 22 vorgenommen, dem Meßgrößen als Variable x_1 bis x_n von einer Eingangseinheit 21 zugeführt werden. Die Kostenprognose erfolgt dagegen parallel mit einem linearen Modell gemäß der Einheit 23. Dafür werden einer Datenbank 24 für die spezifischen Kosten Werte entnommen, jeweils über Verknüpfungsglieder 231 bis 234 mit den Variablen x_1 bis x_n , die einen Fall repräsentieren, verbunden und in einem Summationsglied 238 aufsummiert.

Durch eine Fuzzy-Bewertung wird der prognostizierten Qualität und den prognostizierten Kosten nach Fuzzifizierung in den Einheiten 26 und 27 unter Berücksichtigung entsprechender Fuzzy-Bewertungsregeln in der Einheit 28 und einer nachgeschalteten Einheit 29 zur Defuzzifizierung der Fitneßfaktor berechnet. Dabei können vorteilhafterweise neben den Kosten und der Qualität auch die Abweichung des spezifischen Falles von den Auslegungsdaten der Papiermaschine (Auslegungspunkt) und/oder der aktuelle Fall (aktueller Arbeitspunkt) herangezogen werden. Zu große Sprünge wirken sich negativ auf den Fitneßfaktor aus. Wahlweise kann aber auch nur eine Größe zur Festlegung des Fitneßfaktors herangezogen werden.

In Fig. 3 ist der Einheit 31 mit den einen aktuellen Fall oder bereits einen Tochterfall repräsentierenden Variablen x_1 bis x_n eine Einheit 32 nachgeschaltet, die einen Auswahl- und Integrationsalgorithmus liefert, und die einer Datenbank 34 der einzelnen Fälle zugeordnet ist. Dabei wird aus der Datenbank der Fälle mit dem vorgegebenen Auswahl- und Integrationsalgorithmus der ähnlichste Fall herausgesucht bzw. konstruiert und in der Einheit 35 wiedergegeben.

Speziell bei einer Zellstoff-Fabrik kann letzteres in der einfachsten Konstellation beispielsweise die Reißfestigkeit für die Qualität und die Ausbeute (Holzeinsatz/

erzeugte Zellstoffmenge) für den Kostenfaktor sein. Daraus läßt sich eine Bewertungsfunktion gemäß folgendem Muster ableiten:

$$5 \quad FF = k_1 \cdot \text{Kosten} + k_2 \cdot \text{Qualität}.$$

Durch eine Datenbank 37 für spezifische Kosten lassen sich die Kostenfaktoren in einem Verknüpfungsglied 38 mit entsprechenden Werten verbinden und läßt sich über eine Bewertungseinheit 39 der Fitneßfaktor ermitteln.

In Fig. 4 definieren die Variablen x_1 bis x_4 der Einheiten 41 einen unvollständigen Fall, bei dem Einflußgrößen fehlen können. Es ist eine Einheit 42 vorhanden, die zur Bildung von sogenannten konzeptionellen Klustern dient und die einer Datenbank der Fälle 44 zugeordnet ist.

Mit Hilfe des konzeptionellen Klusters wird aus der Datenbank der Fälle 44 ein prognostiziertes Cluster ermittelt und an die Einheit 45 gegeben. Die weitere Verarbeitung erfolgt entsprechend Fig. 3 mit einer Datenbank 47 für die spezifischen Kosten und einer Bewertungseinheit 49, um den Fitneßfaktor zu bestimmen.

Beispielsweise bei einem Zellstoff-Kocher ist die Qualität des herzustellenden Zellstoffes durch die sogenannte Kappa-Zahl gegeben, die mit den Kostenfaktoren "Holzverbrauch" und "Holzanteil" (Langfaserholz/Kurzfasernholz) korreliert und bewertet wird. Daraus ergibt sich ebenfalls ein Fitneßfaktor. Bei diesem Beispiel wird eine Ungenauigkeit bewußt in Kauf genommen, da es nur darum geht, eine Reihenfolge der Fälle vorzunehmen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Optimierung der Prozeßführung von Produktionsvorgängen, bei denen Prozeßeinstellungen einer Anlage vorgegeben werden, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Prozeßeinstellungen einzelner Produktionsvorgänge Fälle erstellt werden, daß jeweils der auf der Anlage laufende Fall durch eine Prognoseeinrichtung geschickt wird, die aus den Prozeßeigenschaften die fehlenden Produkteigenschaften berechnet und daß der einzelne Fall mit einem sogenannten Fitneßfaktor bewertet und angezeigt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Fitneßfaktor eine vergleichende Bewertung unterschiedlicher Fälle abgeleitet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Berechnung der Produkteigenschaften ein analytisches Modell herangezogen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Berechnung der Produkteigenschaften ein Neuronales Netz herangezogen wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Berechnung der Produkteigenschaften ein Fuzzy-System herangezogen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Modifizierung von Prozeßeinstellungen genetische Algorithmen herangezogen werden und daß jeder durch genetische Algorithmen generierte Fall der Prognoseeinrichtung zugeführt und der Fitneßfaktor berechnet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß durch laufende Wiederholungen der

Fitneßfaktor zu einem Optimum gebracht wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1 oder einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Prognosemodell online trainiert wird und daß die Modellkonstanten in der Nähe des aktuellen Arbeitspunktes bestimmt wird. 5

9. Verfahren nach Anspruch 1 oder einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Gesamtmodell gewählt wird, das offline trainiert wird. 10

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, daß in den Fitneßfaktor neben den Modellparametern die Kosten, die Qualität und/oder ökologische Faktoren eingehen. 15

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungsfunktion der zusätzlichen Faktoren veränderbar ist und den aktuellen Randbedingungen der Produktion angepaßt wird. 20

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Einflußgrößen mit Fuzzy-Logik bewertet und daraus ein Fitneßfaktor abgeleitet wird. 25

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die geforderten Größen über fallbasiertes Lernen als spezifische Art der Modellbildung bestimmt werden. 30

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertung der Größen über das sogenannte konzeptionelle Klustern vorgenommen wird. 35

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertung über neuronale Netze vorgenommen wird. 40

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

40

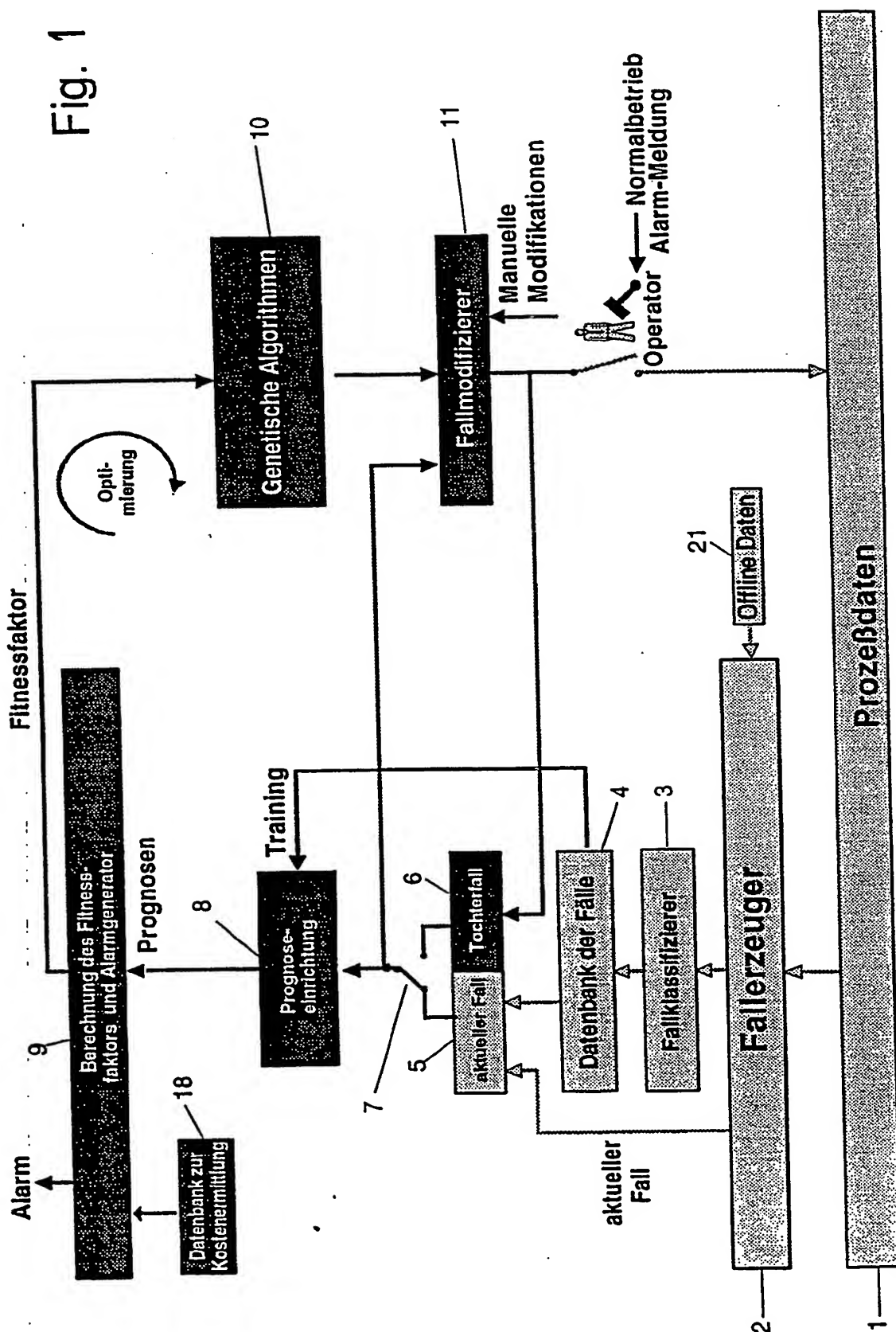
45

50

55

60

65



Genetische Algorithmen bei der Optimierung der Prozeßführung

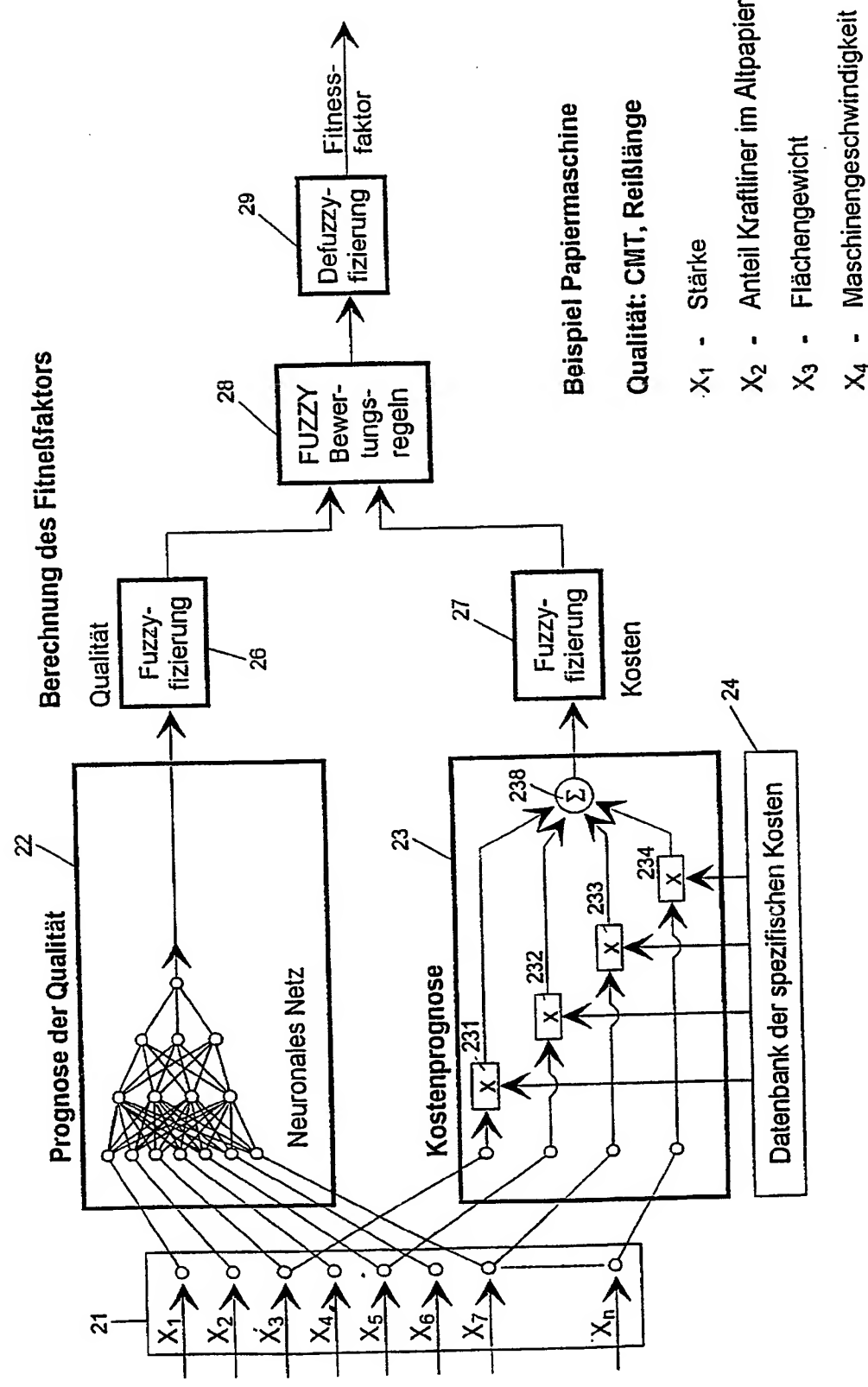


Fig. 2
Berechnung des Fitnessfaktors mit neuronalen Netzen und Fuzzy

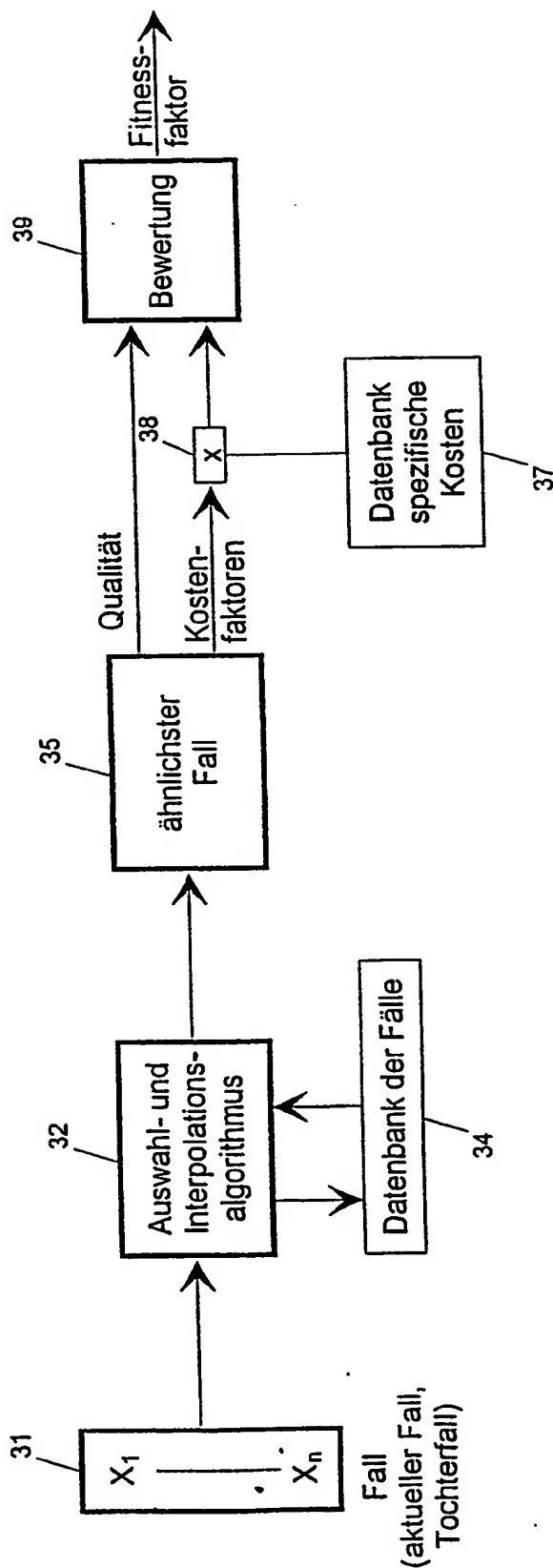


Fig. 3

Berechnung des Fitnessfaktors mit einer Wissensbasis
vorheriger Produktionsfälle

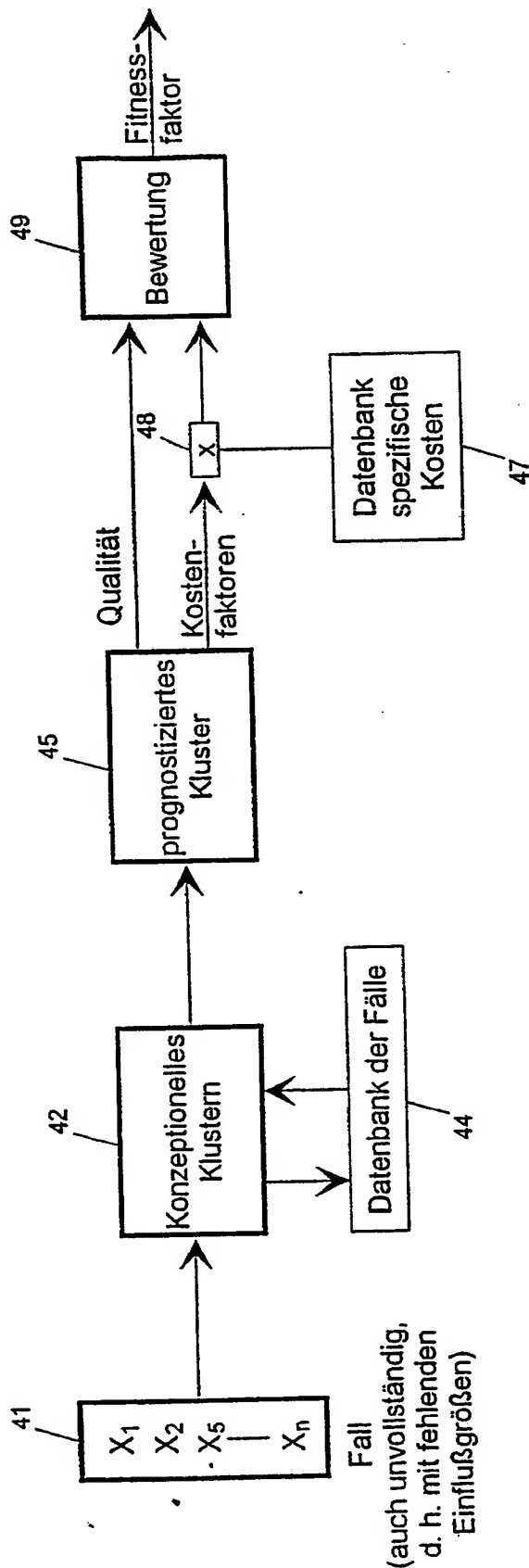


Fig. 4
Berechnung des Fitnessfaktors mit konzeptionellen Klustern